

## Список использованных источников

1. Симанков А. М., Юсфин Ю. С., Травянов А. Я. Влияние частичной замены кокса антрацитом на газодинамические условия работы доменной печи // Изв. вузов. Черная металлургия 2011. № 3. С. 16–20.
2. Ярошевский С. Л., Хлапонин Н. С., Кузнецов А. М., Кузин А. В. Производство и использование коксового орешка в доменной плавке. Донецк: УНИТЕХ. 2006. 68 с.
3. Сибэгатуллин С. К., Харченко А. С., Чевычелов А. В., Колосов А. В., Гостенин В. А., Пишнограев С. Н. Влияние коксового орешка на фильтрацию жидких продуктов плавки в горне доменной печи // Вестник МГТУ Г. И. Носова 2010. № 4. С. 26–28.
4. Харченко А. С., Сибэгатуллин С. К., Сысоев Н. П.. Поступление коксового орешка совместно с агломератом и окатышами из шихтового бункера БЗУ в колошниковое пространство доменной печи // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 8. С. 18–19.
5. Чевычелов А. В., Павлов А. В., Теплых Е. О., Харченко А. С., Сибэгатуллин С. К. Рациональный режим загрузки коксового орешка в шихтовый бункер БЗУ // Сталь. 2013. № 7. С. 8–10.
6. Спирин Н. А. Лавров В. В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2004. – 257 с.
7. Харченко А. С., Сибэгатуллин С. К., Колосов А. В. Использование нейросетевого моделирования для изучения газодинамического режима в нижней части доменной печи в условиях ее работы с коксовым орешком // Изв. вузов. Черная металлургия. 2011. № 11. С. 23–26.

УДК 669.051

**А. П. Скуратов, Е. А. Павлов**

Сибирский федеральный университет, Политехнический институт,  
кафедра теплотехники и гидрогазодинамики, г. Красноярск, Россия

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕРЕВОДА В РАСТВОРИМУЮ ФОРМУ УПОРНЫХ ПРОМПРОДУКТОВ АФФИНАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### Аннотация

*Определены основные факторы, влияющие на низкую рентабельность технологии аффинажного производства. Предложено использовать самораспространяющийся высокотемпературный синтез как энергосберегающий способ, позволяющий повысить эффективность действующих технологий перевода в растворимую форму упорных промпродуктов, содержащих металлы спутники платины. Проведен анализ возможных теплогенерирующих шихт, выполнен расчет доли вводимого упорного материала, определена эффективность предлагаемого способа. Разработана установка с выкатным тиглем, обоснованы техниче-*

ская характеристика тигля и тягодутьевое устройство для повышения скорости охлаждения продуктов синтеза.

*Ключевые слова:* энергетическая эффективность, технология вскрытия, упорные промпродукты, аффинажное производство, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, реактор, выкатной тигель.

### Abstract

*The main factors affecting the low profitability of the refining production technology. Proposed to use a self-propagating high-temperature synthesis, as energy-saving way to increase the effectiveness of existing technology transfer to a soluble form of persistent middlings containing metals platinum satellites. Analysis of possible heat-generating batches, calculated the proportion of resistant material input, determined the effectiveness of the proposed method. An installation Bogie crucible crucible substantiated technical characteristics and forced-draft device for increasing the cooling rate of synthesis products.*

*Keywords:* energy efficiency, technology autopsy resistant middling, refining production, self-propagating high-temperature synthesis, reactor, draw crucible.

В металлургии благородных металлов существующие схемы переработки, разделения и аффинажа позволяют получать наиболее упорные к вскрытию (переводу в растворимую форму) металлы-спутники платины (МСП) Rh, Ir, Ru высокой чистоты с минимальными потерями. Однако этот процесс имеет ряд недостатков, увеличивающих стоимость производства МСП. Основными недостатками являются: применение энергозатратных, высокотемпературных процессов спекания или сплавления осуществляемых продолжительное время (4...8 ч) в крупных печных агрегатах (камерные и факельные печи) при температурах от 800 до 1450 °С, многостадийное растворение, осуществляемое в дорогостоящем оборудовании, и необходимость использования опасных, дорогих реагентов – газообразный хлор, «царская водка». Кроме того, при реализации действующей технологии возникает значительная потребность в рабочей силе, так как из-за не достаточной эффективности перевода упорных промпродуктов в растворимую форму требуется возвращать нерастворимые остатки, содержащие драгоценные металлы, на повторные операции перевода их в растворимую форму путем спекания или сплавления, или отправлять оставшийся промпродукт в цикл обогащения, используя ручной труд, возможности автоматизации и механизации при этом незначительны из-за агрессивности используемых сред.

Наличием перечисленных выше недостатков и обусловлен выбор и обоснование энергосберегающего, эффективного способа перевода упорных промпродуктов, содержащих МСП, в растворимую форму, методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), в удобном для обслуживания технологическом оборудовании. Среди технологически привлекательных сторон нового метода – скоротечность, а значит, и высокая производительность, отсутствие затрат электроэнергии, простота конструкции СВС-реакторов.

Поставленная цель достигается следующим образом:

1. Выбором энергосберегающего способа разогрева шихты. Авторами рассматривается возможность использования быстрого и энергосберегающего способа перевода материалов, содержащих МСП, в растворимые формы путем инициации и осуществления процесса само-

распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [1; 2]. Этот способ достаточно известен, применяется в других областях техники, обеспечивает химическое превращение веществ, сопровождающееся интенсивным выделением энергии и активным тепло- и массообменом в реакционной зоне смеси [3; 4].

2. Выбором и обоснованием состава реагентов разогревающей смеси, обеспечивающего: химическую активацию МСП, входящих в состав упорных промпродуктов; протекание СВС при подшихтовке в нее требуемого количества упорного промпродукта; эффективный перевод целевых компонентов (Rh, Ir, Ru) в растворимые формы [5]. Применительно к поставленной задаче из всего многообразия реакций горения выбран и рассматривается окислительно-восстановительный процесс в смесях порошков оксидов металлов и металлов-восстановителей – внепечная металлотермия.

Как известно, в металлотермических процессах за счет выделения значительного количества теплоты высокая температура (до 2000–3500 °С) развивается без подвода дополнительной энергии извне, а реакция протекает с высокой скоростью в режиме самораспространения. Установлено, что для осуществления внепечного перевода МСП в растворимые формы в режиме протекания СВС необходимо, чтобы металл восстанавливаемого оксида реагировал с присутствующими в шихте целевыми компонентами. В этом случае обеспечивается повышение их реакционной способности. При этом анализ фазовых диаграмм Fe–(Rh, Ir, Ru) для неравновесных процессов указывает на возможность взаимодействия МСП с железом и образования активных форм.

3. Выбором на стадии шихтоподготовки подготовительного, механоактивационного и гомогенизирующего оборудования – планетарные мельницы, вибромельницы [6]. Роль такого оборудования заключается в предварительном повышении химической активности твердых веществ в результате высокоэнергонапряженного механического воздействия на них. Данный эффект достигается за счет глубоких изменений в кристаллической решетке обрабатываемых материалов, что особенно эффективно влияет на последующие твердофазные процессы, в том числе спекание.

4. Кинетическим и термодинамическим анализом процесса, результаты которого подтверждают высокую эффективность и полноту взаимодействия целевых компонентов.

Все перечисленные выше решения были апробированы, а итоговый результат (эффективный перевод упорных промпродуктов в растворимые формы) получен в условиях лабораторной установки (рис. 1, а).

На основании успешных результатов лабораторных исследований произведен выбор промышленной установки и расчет отдельных ее конструктивных узлов: тигля, объема рабочей камеры, а также тягодутьевого устройства, необходимого для интенсивного охлаждения получаемого продукта взаимодействия. При этом решена основная производственная задача по обеспечению стабильности промышленного процесса и производительности установки.

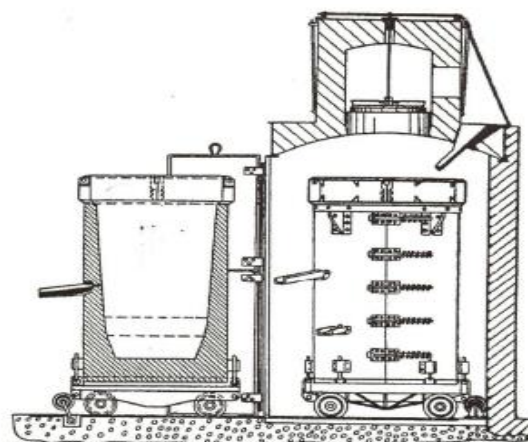
Для СВС процессов используются различные типы агрегатов, наиболее распространенным из которых является реактор с выкатным тиглем (рис. 1, б). Среди его преимуществ можно выделить простоту конструкции, низкую стоимость, надежность работы и удобство эксплуатации.

Ключевым узлом установки является ее тигель. Сформулированы два основных требования, предъявляемых к материалу тигля промышленной установки: тепловая устойчивость

(локальная температура во фронте протекающей реакции достигает  $\sim 3500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и низкая стоимость.



а)



б)

Рис. 1. Лабораторная установка для исследования процессов СВС – а  
и промышленная установка для проведения внепечных  
металлотермических процессов – б

На основании анализа тепловых и эксплуатационных характеристик различных материалов для изготовления рабочего тигля была выбрана медь. Такой тигель, обладающий достаточной массивностью, способен выдержать до 500 рабочих циклов, что составляет около года его работы.

После проведения СВС, с целью предотвращения расслоения продуктов взаимодействия при их длительном самопроизвольном охлаждении после синтеза, тигель требуется охлаждать принудительно. Из анализа экспериментальных данных и моделирования различных условий охлаждения установлен временной период, при котором продукт синтеза и тигель должны достичь температуры, не превышающей  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Отметим также, что для предотвращения окисления поверхностей промышленной установки предложено проводить процесс в атмосфере инертного газа.

#### Список использованных источников

1. Пат. № 2309999 Рос. Федерация Способ извлечения благородных металлов из концентратов / Е. А. Павлов, А. В. Москалев, В. Н. Глухов [и др.]; опубл. 27.06.2007 (<http://www.findpatent.ru/patent/230/2309999.html>).
2. Энергосберегающий способ перевода в растворимую форму металлов-спутников платины / Е. А. Павлов [и др.] // Изв. Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 4(5). С. 1273–1276.
3. Мержанов А. Г. Процессы горения и взрыва в физикохимии и технологии неорганических материалов // Успехи химии. 2003. Т. 72. № 4. С. 323–346.
4. Елютин В.П. Внепечная металлотермия. Министерство цветной металлургии СССР: ЦИИН. 1956. С. 96.

5. Рециклинг железного порошка в технологии аффинажного производства – один из путей повышения экологической безопасности / Э.В. Мальцев, Н.Н. Собачинский, Н.Б. Хмелев, Е.А. Павлов // Цветные металлы. 2012. № 8. С. 45–49.

6. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1979. 254 с.

УДК 669.045

*А. А. Спекторук<sup>1</sup>, А. С. Руденко<sup>2</sup>, Р. В. Дзюбайло<sup>2</sup>,*

*А. Р. Фатхутдинов<sup>2</sup>, М. С. Подгорбунских<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ЗАО "ЭПМ-Новосибирский электродный завод",

р.п. Линево, Искитимского р-на Новосибирской области, Россия,

<sup>2</sup> ОАО "Уралэнергочермет", г. Екатеринбург, Россия

## **ПЕРЕВОД ОБОГРЕВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СМЕСИЛЬНО-ПРЕССОВОГО ЦЕХА НА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ (ВОТ) С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПРОКАЛОЧНЫХ ПЕЧЕЙ ЗАО "ЭПМ-НОВОСИБИРСКИЙ ЭЛЕКТРОДНЫЙ ЗАВОД"**

### **Аннотация**

*В докладе представлено техническое перевооружение Новосибирского электродного завода – перевод технологического оборудования смесильно-прессового цеха на высокотемпературный органический теплоноситель (ВОТ) с утилизацией тепла отходящих газов прокалочных печей прокалочного цеха.*

*В ходе проведенной работы были разработаны различные схемы утилизации тепла дымовых газов прокалочных печей прокалочного цеха и перевод отопления неконсумирующего оборудования (СПЦ и наземного пекосклада) на высокоорганический теплоноситель. На основе выполненных тепловых, электрических и конструктивных расчетов был определен состав оборудования и был произведен расчет экономических показателей, таких как: единовременные затраты, среднегодовые затраты, годовые прибыли, сроки окупаемости. По результатам рассмотрения выполнено технико-экономическое обоснование строительства.*

*На основании технико-экономического обоснования ОАО «Уралэнергочермет» был выполнен проект (проектная и рабочая документация) предусматривающий строительство комплекса в несколько очередей без остановки основного производства завода. Проектом предусмотрено строительство камеры дожигания, установка котлов утилизаторов, подвод высокотемпературного теплоносителя к технологическому оборудованию СПЦ. Спроектированная камера дожигания обеспечивает дожигание летучих веществ и каменноугольной пыли.*